Die Ernährung der Algen

(Süsswasseralgen, II. Abhandlung)

von

Hans Molisch,

c. M. k. Akad.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der k. k. deutschen Universität in Prag.

In meiner ersten Abhandlung[1] über diesen Gegenstand habe ich vor Allem festzustellen versucht, welche Nährelemente die Süsswasseralgen benöthigen; es hat sich hiebei herausgestellt, dass viele Algen derselben Elemente bedürfen wie die höhere grüne Pflanze,[2] jedoch mit einer höchst auffallenden Einschränkung bezüglich des Calciums, welches sich für einige Algen *(Vaucheria, Spirogyra)* als nothwendig, für andere *(Microthamnion, Stichococcus, Ulothrix, Protococcus)* als unnöthig erwies.

In der vorliegenden zweiten Abhandlung strebte ich vor Allem die Lösung folgender drei Fragen an:

1. Welche Reaction soll eine Nährlösung für Algen haben?
2. Ist bei der Ernährung der Algen das Kalium durch seine nächsten verwandten Elemente ersetzbar?
3. Ist Phosphor durch Arsen vertretbar?

---

[1] H. Molisch, Die Ernährung der Algen. (Süsswasseralgen, I. Abhandlung.) Diese Berichte, Bd. CIV, Abth. I, 1895. Im Folgenden will ich diese Arbeit kurz »Molisch I« citiren.

[2] Ob die Diatomeen nicht vielleicht im Gegensatz zu den anderen Algen für den Aufbau ihrer Zellhaut die Kieselsäure benöthigen, vermag ich vorläufig nicht zu sagen, da es mir bisher nicht gelingen wollte, die Diatomeen im Laboratorium gut zu cultiviren.

I. Welche Reaction soll eine Algennährlösung haben?

So wie die Reaction der Nährflüssigkeit bei Pilzen oft von entscheidender Bedeutung für Gedeihen oder Nichtgedeihen ist, so auch bei den Algen. Ich habe bei meinen Versuchen diesbezüglich nicht selten unangenehme Erfahrungen gemacht, denn mitunter wollten Algen, deren Cultur mir sonst keine Schwierigkeiten machte, in gewissen Nährlösungen nicht nur nicht gedeihen, sondern sie gingen sogar zu Grunde. Bei planmässig angestellten Experimenten stellte sich dann heraus, dass die Art der Reaction der Nährflüssigkeit daran Schuld war. Die Algen benöthigen in der Regel eine ganz schwach alkalische Reaction der Nährflüssigkeit, saure Reaction hemmt die Entwicklung oder tödtet die Algen.

Bringt man *Spirogyra-*, *Vaucheria-*, *Cladophora-*, *Oedogonium* oder *Oscillaria*-Arten in eine Nährlösung von folgender Zusammensetzung:

1000 *g* H_2O
0·2 *g* NO_3K
0·2 *g* PO_4KH_2
0·2 *g* SO_4Mg
0·2 *g* SO_4Ca
Spur Eisenvitriol,

so gehen die Algen nach 1—3 Tagen entweder zu Grunde oder sie beginnen zu kränkeln. Diese Lösung reagirt nämlich schwach sauer. Ersetzt man in derselben nur das sauer reagirende Monokaliumphosphat durch das alkalisch reagirende Dikaliumphosphat, so erhält die Lösung hiedurch schwach alkalische Reaction und die Algen bleiben gesund. Desgleichen wird die schädigende Wirkung der Nährlösung aufgehoben, wenn man das Monokaliumphosphat belässt, jedoch kohlensauren Kalk bis zu schwach alkalischer Reaction hinzufügt.[1]

---

[1] In solcher Nährlösung keimen auch die Sporen von *Equisetum arvense* sehr gut, hingegen nicht in der sauer reagirenden von der angegebenen Zusammensetzung.

Lehrreich ist auch folgender Versuch: Neun Culturgefässe werden mit sehr schwach sauer reagirender Nährflüssigkeit von der erwähnten Zusammensetzung versehen, drei davon unverändert belassen, je eines von den übrigen jedoch mit einer der Substanzen Soda, kohlensaures Kali, Ätzkalk, Kaliumhydroxyd und Borax versetzt, und zwar mit gerade so viel, dass die Reaction der Culturflüssigkeit ganz schwach alkalisch wurde, beziehungsweise ein hineingeworfenes rothes Lackmuspapier sich nach etwa 10—20 Minuten deutlich bläute. *Spirogyra* und *Oscillaria*, welche ich sodann in die Gefässe brachte, gingen in der sauren Nährlösung nach 1—3 Tagen unter Weisswerden vollständig zu Grunde, während sie sich in den alkalisch gemachten Lösungen wochenlang am Leben erhielten, ja theilweise stark vermehrten.

In Übereinstimmung mit diesen Befunden steht die Thatsache, dass natürliche Wässer, wie sie in Tümpeln, Bächen, Teichen und Seen vorkommen und in welchen Algen angetroffen werden, in der Regel sehr schwach alkalisch reagiren. Ich habe mich zu wiederholten Malen überzeugt, dass rothes Lackmuspapier, welches ich in solche natürliche Wässer warf, sich nach einiger Zeit (15—60 Minuten) bläute, in harten Wässern begreiflicherweise rascher und stärker als in weichen. Die Ursache dieser Alkalescenz des Wassers ist in erster Linie der kohlensaure Kalk, welcher dem Wasser die Eigenschaft verleiht, Säuren zu neutralisiren, d. h. er macht das Wasser alkalisch.[1]

Nun wird auch die von Migula gemachte Beobachtung,[2] derzufolge verschiedene Algen gegen geringe Mengen organischer und anorganischer Säuren sehr empfindlich sind und geschädigt werden, um so begreiflicher. Der genannte Autor bot seinen Algen freie Säuren, aus meinen Versuchen geht aber hervor, dass selbst schon saure Salze verschiedene Algen tödten oder ihr Gedeihen hemmen. Viel früher hatte schon

---

[1] Wanklyn J. A., Analyse des Wassers. Übersetzung der 8. Auflage von H. Borckert. Charlottenburg 1893, S. 89.

[2] Migula W., Über den Einfluss stark verdünnter Säurelösungen auf Algenzellen. Inaugural-Dissertation, Breslau 1888.

O. Loew die Schädlichkeit saurer Substanzen für das Protoplasma der meisten Algen betont.[1]

Unter den verschiedenen Algen, die ich gelegentlich meiner nunmehr dreijährigen Ernährungsversuche im Laboratorium cultivirt habe, kam mir keine einzige unter, welcher eine schwach alkalische Nährlösung nicht zugesagt hätte. Es erscheint dies um so verständlicher, als ja, wie Klebs[2] zuerst für *Zygnemen* fand und wie ich für sehr viele Algen bestätigen kann, Algen die Fähigkeit besitzen, im Sonnenlichte unter den Bedingungen der Kohlensäureassimilation Nährlösungen alkalisch zu machen, mithin wenigstens während ihrer Beleuchtung für die Alkalescenz ihres Mediums Sorge tragen und in einem solchen auch gedeihen. Doch soll damit keineswegs gesagt sein, dass es unter den Algen nicht auch solche gibt, welche nicht mit einer neutralen oder schwach sauren Nährlösung vorlieb nehmen, denn ich selbst habe in *Stichococcus* und *Protococcus* derartige Algen kennen gelernt. In Wässern der Torfböden, welche ihres relativ hohen Gehaltes an Humussäuren wegen bekanntlich sauer reagiren, dürften noch andere Gattungen gefunden werden, welche eine schwache Acidität des Mediums vertragen.[3]

II. Ist das Kalium durch seine nächstverwandten Elemente ersetzbar?

Die einschlägigen Versuche wurden unter ganz denselben Vorsichten durchgeführt wie meine früheren Experimente, weshalb ich einfach auf den Abschnitt »Methodisches« in meiner ersten Algenarbeit[4] verweise. Es sei hier nur kurz betont, dass Ernährungsversuche über die Vertretbarkeit eines

---

[1] Loew O., Sind Arsenverbindungen ein Gift für pflanzl. Protoplasma? Pflüger's Archiv, 1883, S. 112.

[2] Klebs G., Über die Organisation der Gallerte bei einigen Algen etc. Untersuch. aus dem bot. Inst. zu Tübingen, II. Bd., S. 340.

[3] Das Bedürfniss nach einer bestimmten Reaction des Nährmediums muss für die Verbreitung von Algen und Pilzen neben anderen Factoren gleichfalls von massgebender Bedeutung sein. Es ist dies meiner Ansicht nach ein Beweis dafür, dass neben physikalischen Ursachen auch chemische die Vertheilung der Gewächse auf der Erde bestimmen.

[4] H. Molisch, I, l. c. S. 6 des Separatabdruckes.

Elementes, zumal des Kaliums, durch verwandte die grösste Sorgfalt von Seite des Experimentators erheischen, und dass auch diesmal alles, was ich über die Reinigung des Nährmaterials und die Verwendung von Glasgefässen gesagt habe, streng eingehalten wurde. Die Alkalisalze standen mir zum Theil in einer Reinheit zur Verfügung, die nicht so leicht übertroffen werden dürfte.

Herr Prof. Dr. R. Godeffroy (Wien) hatte nämlich seinerzeit unter Berücksichtigung der Methoden von Bunsen und eigenen Erfahrungen sich mehrere Alkalisalze dargestellt, um damit das Atomgewicht von Rubidium und Caesium zu bestimmen.[1] Der genannte Forscher, der inzwischen dem Leben leider entrissen wurde, hatte im vorigen Jahre die besondere Güte, mir von diesen reinen Salzen Rubidiumsulfat und Cäsiumalaun für meine Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Da die Salze aus dem Jahre 1876 stammten, so wäre es nicht unmöglich gewesen, dass sie inzwischen bei der Aufbewahrung mit Spuren von anderen Alkaliverbindungen verunreinigt wurden. Sie wurden daher nochmals spectraliter geprüft und erwiesen sich als frei von anderen Alkalimetallen. Die anderen benützten Alkalisalze stammten aus den Fabriken von Merck und Trommsdorff und wurden vor ihrer Verwendung noch zweimal umkrystallisirt.

Versuche mit *Protococcus infusionum* (Schrank) Krch. und *Stichococcus baccilaris* Nägeli.

Die kaliumfreie Nährlösung hatte die Zusammensetzung:[2]

500 *g* H_2O
0·4 *g* $PO_4(NH_4)_3$
0·2 *g* SO_4Mg
2 Tropfen einer 1% Eisenvitriollösung.

---

[1] R. Godeffroy, Bestimmung der Atomgewichte von Cäsium und Rubidium. Liebig's Annalen der Chemie, Bd. 181, 1876, S. 176.

[2] Die Lösung trübt sich etwas, weil etwas phosphorsaure Ammonmagnesia ausfällt. Für unsere Versuche ist dies ohne Bedeutung. Diese sowie die später verwendeten Nährlösungen enthielten keinen Kalk. Ich wollte damit neue Beweise dafür erbringen, dass gewisse Algen des Kalkes nicht bedürfen. Vergl. darüber »Molisch, I,« S. 12.

Damit wurden 21 Paraffin-Erlenmeyer-Kolben versehen.

Kolben	Erhielt als Zusatz:
1	Nichts.
2	»
3	»
4	0·006 % Rb_2SO_4 (Godeffroy)
5	» » »
6	» » »
7	0·006 % $(SO_4)_3Al_2 . SO_4Cs_2 . 24 H_2O$ (Godeffroy)
8	» » »
9	» » »
10	0·006 % SO_4Cs_2
11	» »
12	» »
13	0·006 % Li_2SO_4
14	» »
15	» »
16	0·006 % Na_2SO_4
17	» »
18	» »
19	0·006 % K_2SO_4
20	» »
21	» »

Jedes Gefäss — die Nährflüssigkeit betrug je 50 cm^3 — wurde schliesslich mit einer Nadelspitze voll von mit destillirtem Wasser gewaschenen *Protococcus infusionum* (Schrank) Krch., welcher sich auf einer sehr kaliumarmen Lösung nahezu in Reincultur entwickelt hatte, geimpft.

Beginn des Versuches am 20. Mai 1896, Ende 14. Juli 1896.

Am 4. Juni waren die Kaliumculturen deutlich grün, und zwar nur diese. Am 16. Juni fielen die Kaliumculturen schon von Weitem durch ihre intensiv grüne Farbe auf. Mit Ausnahme einer kaliumfreien Cultur, welche schwach grün war, waren alle anderen farblos. Am 23. Juni alles im Wesentlichen ebenso. In den Kaliumculturen hatte sich inzwischen eine geschlossene tief grüne Haut und ein reichlicher Bodensatz von *Protococcus* gebildet.

Das Resultat dieser Versuchsreihe darf als ein ziemlich präcises hingestellt werden, denn, wenn man von der einen »kaliumfreien« Cultur absieht, in welcher sich die Alge offenbar geringer Kaliumspuren wegen, die die Nährflüssigkeit enthielt, ziemlich vermehrt hatte, so fand eine schöne und deutliche Entwicklung der Alge nur in den Kaliumculturen statt, mit anderen Worten, nach dieser Versuchsreihe wäre Kalium durch seine nächsten Verwandten nicht vertretbar. Um darin sicherer zu sein, stellte ich ganz dieselbe Versuchsreihe an, jedoch mit dem Unterschiede, dass von den Alkaliverbindungen nur 0·002 % hinzugefügt wurde.

Das Ergebniss bei Anwendung von Paraffingefässen war dasselbe wie bei der vorhergehenden Versuchsreihe. Beginn des Versuches am 26. Mai 1896, Ende am 16. Juli 1896. Zehn Tage nach Beginn des Experimentes zeigten die kaliumhältigen Nährlösungen einen grünen Stich, nach 16 Tagen eine grüne Algenhaut; alle anderen Culturen blieben farblos, erst gegen Ende des Versuches, also nach etwa $1^1/_2$ Monaten, trat in einer Rubidiumcultur eine Spur von Algenentwicklung auf.

In den beiden eben geschilderten Versuchsreihen wurden Paraffingefässe verwendet. Cultivirt man jedoch die Algen in gewöhnlichen Erlenmeyer-Kölbchen ohne Paraffin, so ist das Ergebniss, namentlich bei langer Versuchszeit, offenbar weil Kalispuren aus dem Glas herausgelöst werden, ein weniger präcises. Um davon eine Vorstellung zu geben, theile ich aus meinen Aufzeichnungen folgende Versuchsreihe mit *Protococcus infusionum* mit.

Zusammensetzung der kaliumfreien Nährlösung wie vorher. Zahl der Kölbchen 18.

Kölbchen	Erhielt als Zusatz
1, 2, 3	Nichts.
4, 5, 6	0·005 % Rb_2SO_4

Kölbchen	Erhielt als Zusatz:
7, 8, 9	0·005% Cs_2SO_4
10, 11, 12	0·005% Li_2SO_4
13, 14, 15	0·005% Na_2SO_4
16, 17, 18	0·005% K_2SO_4

Beginn des Versuches 3. Juni, Ende 15. Juli. Nach 7 Tagen Cultur 16—18 schwach grün, alle anderen farblos. Nach 15 Tagen 16—18 deutlich grün, 1—3 schwach grün, 13—15 schwach grün, aber etwas schwächer als 1—3.

Nach 23—32 Tagen:

1—3 deutlich grün, eine geschlossene Algenhaut,
4—6 sehr schwach grün,
7—9 farblos,
10—12 sehr schwach grün,
13—15 deutlich grün, eine geschlossene Algenhaut,
16—18 tief grün, eine geschlossene Algenhaut.

Auch aus dieser Versuchsreihe folgt, dass das Kalium die besten Culturen ergibt. Kalium ermöglicht rasche und reichliche Entwicklung. Cäsium liess die Algen überhaupt nicht aufkommen. In den anderen Gefässen war aber dennoch Entwicklung eingetreten, in dem »kaliumfreien« merkwürdigerweise eine bessere als bei Zusatz von Rubidium und Lithium, eine Thatsache, die nicht sehr für die Vertretbarkeit des Kaliums durch die beiden genannten Elemente spricht, sondern eher auf eine schädigende Einwirkung dieser hindeutet. Die Culturen mit Zusatz von Na waren ungefähr den kaliumfreien gleich.

Man könnte nun einwenden, dass die Concentration, in welcher die Alkaliverbindungen geboten wurden (0·005%), schon zu gross war und in Folge dessen giftig wirkt, dass aber

geringere Mengen der Alkalimetalle eine gleiche Wirkung wie Kalium ausgeübt hätten. Dem gegenüber bemerke ich, dass in der zweiten, auf S. 7 mitgetheilten Versuchsreihe die Concentration nur mehr 0·002% war, ohne dass das Ergebniss wesentlich anders gewesen wäre. Auch sei bemerkt, dass bei weiterer Verringerung der Alkalidosen, d. h. wenn man den Gehalt der Rubidium-, Cäsium- und Lithiumverbindungen bis auf 0·001 oder 0·0005% in der Nährlösung herabdrückt, diese auch dann nicht Kaliumverbindungen zu ersetzen vermögen; es tritt nun dann die hemmende Wirkung mit sinkendem Alkaligehalt allerdings zurück, und derartige Culturen gleichen dann mehr oder weniger den »kaliumfreien«. Als bei Wiederholung dieser Versuchsreihe die Alkalimetalle anstatt in Form der Sulfate in Form von Chloriden geboten wurden, war das Ergebniss im Wesentlichen dasselbe.

Wenn ich alle meine Versuche über den Werth der Alkaliverbindungen überschaue, so glaube ich zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass das Kalium für die normale Entwicklung meiner Versuchsalge *Protococcus* nothwendig ist, und dass dieses Element durch Rubidium, Lithium, Cäsium oder Natrium nicht ersetzt werden kann. Dies stimmt im Wesentlichen auch mit den Erfahrungen, die bereits früher O. Loew bei Versuchen über die Vertretbarkeit des Kaliums durch Rubidium mit *Polygonum fagopyrum*, also einer phanerogamen Pflanze gemacht hat, denn hier konnte Rubidium weder als Nitrat, noch als Chlorid die Stelle der entsprechenden Kalisalze in den bei Kali als günstig befundenen Nährsalzgemischen vertreten.[1] In jüngster Zeit hat W. Benecke[2] die Nothwendigkeit des Kaliums auch für Schimmelpilze und deren Verwandte erwiesen und die gegentheiligen Angaben Wehmer's damit wohl widerlegt.[3]

---

[1] O. Loew, Kann das Rubidium die physiologische Function des Kaliums in der Pflanzenzelle übernehmen? Die landw. Versuchsstationen, Bd. XXI, 1878, S. 395.

[2] W. Benecke, Die Bedeutung des Kaliums und Magnesiums für Entwicklung und Wachsthum des *Aspergillus niger* etc. Botan. Zeitung, I, 1896, S. 97.

[3] Bei dieser Gelegenheit möchte ich bemerken, dass ich an meiner Auffassung, derzufolge gewisse niedere Pilze Eisenspuren zu ihrer normalen Ent-

III. Über die angebliche Ersetzbarkeit der Phosphate durch Arseniate.

O. Loew[1] beobachtete, dass verschiedene Algenarten in 1% Lösung von arsensaurem Kalium sich am Leben erhalten. hingegen in einer ebenso starken neutralisirten Lösung von arsenigsaurem Kali nach 6—10 Tagen abstarben.

Auch die höheren Pflanzen scheinen ein ähnliches Verhalten den beiden Arten von Arsensalzen gegenüber aufzu-

---

wicklung benöthigen, auch jetzt noch festhalte und dass ich diese meine Ansicht so lange nicht für widerlegt betrachten werde, bis es Jemandem gelungen sein wird, die Ergebnisse meiner Versuche als unrichtige zu erweisen und bis es gelungen sein wird, Pilze zu ziehen, in deren Asche kein Eisen vorhanden ist. Am wenigsten kann ich mich jedoch für widerlegt halten durch Versuche, wie sie C. Wehmer gegen mich geltend zu machen sucht, denn dessen wenige, ursprünglich zu einem ganz anderen Zwecke durchgeführten Experimente entbehren der gerade in unserer Streitfrage so nothwendigen Exactheit — in ähnlichem Sinne sprach sich auch bereits W. Benecke in einem Referat über die einschlägige Arbeit Wehmer's aus: Botan. Zeitung 1896, II, S. 12 — und können eben deshalb keinen Anspruch auf ernste Beachtung erheben.

Diejenigen, welche die Nothwendigkeit des Eisens zu bestreiten geneigt sind, mache ich darauf aufmerksam, dass auch Algen in sorgfältig dargestellten Nährlösungen, denen man keine Eisenverbindung beigegeben hat, sich namentlich bei längerer Versuchsdauer ebenso wie Pilze schwach entwickeln, und doch wird man auf der Gegenseite sich schwerlich zu dem Schluss entschliessen wollen, dass Algen des Eisens nicht bedürfen. Man wird vielmehr annehmen. dass hier Algenentwicklung auf Kosten von Eisenspuren erfolgte, von denen man sich eben in Anbetracht der allgemeinen Verbreitung von sehr geringen Eisenmengen derzeit nicht losmachen kann. Von vornherein ist man geneigt, die Wirksamkeit solcher Eisenspuren zu unterschätzen, ob mit Recht, wird vielleicht die Zukunft lehren. Vor zwei Jahren hätte es Niemand für wahrscheinlich gehalten, dass Jod ein normaler Bestandtheil der menschlichen Schilddrüse ist und dass aller Wahrscheinlichkeit nach für den normalen Zustand und die normale Function derselben das Jod unerlässlich ist. Heute jedoch sind wir auf Grund der interessanten Befunde Baumann's (Zeitschrift für physiologische Chemie, 1896) in dieser Hinsicht anderer Meinung, obwohl die allgemeine Verbreitung von Jod in der uns umgebenden Natur trotz der empfindlichen Reactionen auf Jod derzeit noch gar nicht nachgewiesen ist.

[1] Loew O., Ein natürl. System der Giftwirkungen. München. 1893, S. 19. Vergl. auch dessen Abhandlungen in Pflüger's Archiv, 1883, S. 111 und 1887, S. 444.

weisen, denn während nach Nobbe[1] arsenigsaures Kali noch in grossen Verdünnungen Erbsenkeimlinge tödtet, fand Knop,[2] dass Maispflanzen 0·05 *g* arsensaures Kali pro Liter Nährlösung nicht nur vertragen, sondern darin normalen Samen entwickeln.

Was über Beziehungen zwischen Arsenverbindungen und den Organismen bisher bekannt geworden ist, hat Loew im Wesentlichen in seinem trefflichen Buche über Giftwirkungen zusammengestellt, weshalb ich, um Wiederholungen zu vermeiden, einfach darauf hinweise. Vor Kurzem hat auch J. Stoklasa auf Grund zahlreicher Versuche dargethan, dass bei höheren Phanerogamen Arsen den Phosphor nicht zu ersetzen vermag, und dass arsenige Säure hier viel giftiger wirkt als Arsensäure.[3]

Worauf ich aber hier genauer eingehen will, ist die von Bouilhac[4] vor zwei Jahren aufgeworfene Frage, ob bei den Algen die Arsenate die Phosphate vertreten können. Der genannte Autor hat auf Grund seiner Versuche diese Frage bejaht. Er säete im Gefässe, die in der Nährlösung anstatt der Phosphate verschiedene Mengen von arsensaurem Kali enthielten, *Stichococcus baccilaris* aus und fand nach einiger Zeit, dass sich *Stichococcus* entwickelte, dass aber neben dieser Alge bald andere Algen (*Protococcus infusionum*, *Ulothrix tenerrima, Phormidium Valderianum*), deren Keime durch die Atmosphäre in die Gefässe hineingelangten, sich breit machten. In den Culturen mit Arsen war die Vegetation reichlich, während sie in den Controlgefässen ohne Arsen schwächlich blieb. Aus diesen und ähnlichen Versuchen schliesst der Verfasser, dass bei den genannten Algen der Phosphor durch Arsen ersetzt werden kann.

Ich habe schon in meiner ersten Abhandlung über Algenernährung auf einige Thatsachen hingewiesen, welche mich

---

[1] Nobbe, Landw. Versuchsstationen, 37, 381.

[2] Knop, Botan. Centralbl., 1885, S. 35.

[3] J. Stoklasa, Über die Bedeutung des Arsens in der Pflanzenproduction. Chemiker-Zeitung, Nr. 10, 1896.

[4] Bouilhac R., Influence de l'acide arsénique sur la végétation des algues. Comptes-rendus, CXIX, 1894, No. 22, p. 929.

an der Richtigkeit des Bouilhac'schen Ergebnisses zweifeln liessen. Jedermann, der sich mit der Untersuchung über die Vertretbarkeit von Elementen bei der Ernährung beschäftigt hat, weiss, mit welch grosser Sorgfalt Nährlösungen zu solchen Zwecken hergestellt werden müssen. Bouilhac erwähnt aber die Herstellung seiner verwendeten Nährlösungen mit keinem Worte, er spricht nicht davon, dass er das für die Culturen benützte destillirte Wasser und die Nährsalze einer besonderen Reinigung unterzogen hätte, ja er scheint seine Versuchsgefässe gar nicht mit Baumwollpfropfen verschlossen und vor atmosphärischem Staub geschützt zu haben, denn er sagt von seinen *Stichococcus*-Culturen: »Mais, bientôt, ils furent envahis par des alges divers, dont les germes avaient été apportés par l'atmosphère«. Nichtsdestoweniger könnte aber der erwähnte Autor doch im Rechte sein, und eine Entscheidung in unserer Frage war nur von neuen Versuchen zu erwarten.

Die zu den folgenden Experimenten[1] verwendete Nährlösung hatte die Zusammensetzung:

500 *g* H_2O
0·4 *g* NO_3K
0·2 *g* SO_4Mg
Eisenvitriol (2 Tropfen einer 1% Lösung).

Die Nährlösung war also phosphorfrei. 27 Erlenmeyer-Kolben wurden damit versehen, drei blieben ohne jeden Zusatz, je drei andere erhielten Zusätze (gewöhnlich 0·02%) von AsO_4K_3 (0·02 und 0·06%), AsO_3K_3, $AsO_4(NH_4)_3$, $AsO_3(NH_4)_3$ oder $PO_4(NH_4)_3$ und endlich drei einen Zusatz von $PO_4(NH_4)_3$ und AsO_4K_3.

Alle Kölbchen wurden mit *Protococcus infusionum* Schrank (Kirchner) geimpft und mit Baumwolle verschlossen. Beginn des Versuches 18. März 1896.

Schon nach 12 Tagen begannen die Culturen, welche Phosphor enthielten, zu ergrünen, und nach weiteren 7 Tagen stachen diese durch ihre tiefgrüne Farbe hervor, während alle

---

[1] Bei diesen Versuchen war eine Auskleidung der Erlenmeyer-Kolben mit Paraffin unnöthig.

anderen Culturen, weil auch nicht eine Spur einer Entwicklung zu bemerken war, farblos geblieben waren. So verhielt sich die Sache bis zum Ende des Versuches, dem 1. Mai 1896. In den Phosphorculturen schwamm zu dieser Zeit eine geschlossene, faltige, grüne Haut von *Protococcus* auf der Oberfläche und am Boden reichlicher Satz davon. In den phosphorfreien Nährlösungen war, abgesehen von der Spur Impfmasse, nichts von der Alge zu sehen.

Obwohl dieser Versuch bei der Wiederholung ganz dasselbe Resultat lieferte, machte ich doch noch weitere Versuche, und zwar auch mit derjenigen Alge, mit welcher Bouilhac arbeitete, mit *Stichococcus baccilaris* Nägeli.

Die Nährlösung hatte dieselbe Zusammensetzung wie vorher. Zahl der Versuchsgefässe 15.

Versuchskölbchen	1—3	erhielt keinen Zusatz.				
»	4—6	»	als Zusatz		0·02%	AsO_4K_3,
»	7—9	»	»	»	0·02	$PO_4(NH_4)_3$
»	10—12	»	»	»	0·02	$PO_4(NH_4)_3$
					+0·02	AsO_4K_3
»	13—15	»	»	»	0·02	$PO_4(NH_4)_3$
					+0·02	AsO_3K_3

Nach 16 Tagen zeigte

1—6 keine Spur einer Entwicklung,
7—12 eine geschlossene Haut von tiefgrüner Farbe und mosaikartigem Aussehen,
13—15 keine Spur einer Entwicklung.

Nachdem der Versuch noch weiter einen Monat stehen geblieben war, zeigte er ganz dieselben Erscheinungen.

Es kann also nach dem Gesagten keinem Zweifel unterliegen, dass von einem Ersatz des Phosphors durch Arsen bei den von Bouilhac verwendeten Algen keine Rede sein kann und dass ohne Phosphor eine Entwicklung oder Vermehrung dieser Algen nicht stattfindet.

Es muss demnach bei den Bouilhac'schen Experimenten irgend ein Fehler unterlaufen sein; am wahrscheinlichsten

dünkt es mir, dass die Nährlösungen des genannten Forschers, weil nicht mit der nöthigen Genauigkeit dargestellt, durchwegs Phosphorverbindungen enthielten und dass die Hauptmasse dieser durch Arsenate, welche mit Phosphor verunreinigt waren, in die Culturflüssigkeit Eingang fand. Aus meiner letzten Versuchsreihe folgt aber überdies, dass das arsensaure Kalium von den Algen ganz gut vertragen wird, nicht aber das arsenigsaure Kali, denn in den Kölbchen 10—12 fand reichliche Entwicklung bei Gegenwart von AsO_4K_3 statt, hingegen auch nicht spurenweise bei Anwesenheit von AsO_3K_3. Dies stimmt mit den einschlägigen, vorhin mitgetheilten Versuchen von O. Loew. Es ist ganz merkwürdig, wie verschieden sich Algen den beiden erwähnten Arsensalzen gegenüber verhalten und welch' grosse Mengen von arsensaurem Kalium gewisse Algen noch vertragen. Als Beleg dafür noch folgende Versuchsreihe.

Nährlösung:

1000 *g* H_2O
1 *g* NO_3K
0·5 *g* SO_4Mg
0·5 *g* PO_4HK_2
Spur Eisenvitriol

Zahl der Versuchskölbchen 18. Versuchsalge: *Stichococcus baccilaris.*

Kölbchen	Erhielt als Zusatz:	
1—2	Nichts	
3	0·001%	AsO_4K_3
4	0·005	»
5	0·01	»
6	0·05	»
7	0·1	»
8	0·5	»
9	1	»
10	2	»
11	0·001	AsO_3K_3
12	0·005	»
13	0·01	»
14	0·05	»

Kölbchen	Erhielt als Zusatz	
15	0·1%	AsO_3K_3
16	0·5	»
17	1	»
18	2	»

Nach 7 Tagen zeigten 1—8 eine grüne Haut, bei 9—11 war schwache Entwicklung zu merken, bei 12—18 gar nichts.

Nach 16 Tagen vom Beginn des Versuches an: Die Culturen 1—9 tief grün, 8—9 etwas schwächer als 1—7, auch in 10 ganz schwache Entwicklung, 11 schwach grün, 12—18 farblos, weil ohne jede Entwicklung.

Auch diese Versuchsreihe zeigt wieder die Unschädlichkeit der Arsensäure und die Giftigkeit der arsenigen Säure. Selbst in der 2%-Lösung von arsensaurem Kali trat noch Entwicklung ein. Wenn diese Entwicklung hier und in den Gefässen mit höherem Zusatze von Kaliumarsenat gehemmt war, so ist dies bei der hohen Concentration des Nährmediums nicht zu verwundern.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Die Reaction einer Algennährlösung soll in der Regel eine sehr schwach alkalische sein. Es gibt zwar auch Algen, welche entweder in neutraler oder schwach saurer Nährflüssigkeit fortkommen *(Stichococcus, Protococcus)*, doch sagt auch diesen Algen eine schwach alkalische Nährlösung zu.

2. Die untersuchten Algen entwickelten sich nur rasch und reichlich bei Gegenwart von Kaliumverbindungen. Das Kalium konnte hier durch die nächst verwandten Elemente Natrium, Rubidium, Caesium und Lithium nicht ersetzt werden.

3. Die Angabe R. Bouilhac's, derzufolge Arsenverbindungen die Phosphorverbindungen bei der Ernährung von Algen ersetzen können, hat sich bei der Nachuntersuchung mit dem von dem genannten Forscher verwendeten Algenmaterial als unrichtig herausgestellt.

Es ist erstaunlich, welch' grosse Mengen von Arsenaten Algen vertragen können (bis über 2%); Arsenite wirken hingegen schon in relativ geringen Concentrationen giftig.

4. Von Zeit zu Zeit taucht in der Literatur immer wieder die Behauptung auf, dass irgend ein Nährelement durch ein nahe verwandtes ersetzt werden kann. Derartige Behauptungen haben sich wenigstens bisher bei kritischer, auf genauen Untersuchungen beruhender Prüfung als unberechtigt erwiesen.

Erst vor Kurzem konnte ich den Nachweis erbringen, dass das Magnesium für Pilze (entgegen der Ansicht von Nägeli) und für Algen unentbehrlich ist und dass von einem Ersatz dieses Elementes durch verwandte, etwa durch Calcium bei Pilzen, nicht die Rede sein kann.

Jüngst konnte W. Benecke zeigen, dass die von Wehmer behauptete Vertretbarkeit von Kaliumsalzen durch Natriumsalze nicht besteht. Meine vorliegende Abhandlung erbringt, wie bereits bemerkt wurde, den Beweis, dass Kalium und Phosphor für die untersuchten Algen unerlässlich sind und dass diese Elemente von ihren nächsten verwandten nicht vertreten werden können.

Alle hieher gehörigen Erfahrungen überschauend, leugne ich zwar nicht die Möglichkeit, dass bei der Ernährung der Pflanze manche Elemente durch nahe verwandte partiell ersetzt werden können, ja ich konnte sogar darthun, dass bei gewissen Algen und bei höheren Phanerogamen Strontiumverbindungen Calciumverbindungen eine Zeit lang thatsächlich vertreten können, aber ich halte es nach dem derzeitigen Stand unseres Wissens für höchst unwahrscheinlich, dass ein Nährelement der Pflanze durch ein verwandtes vollends ersetzt zu werden vermag.

5. Zahlreiche anlässlich der vorliegenden Abhandlung durchgeführte Versuchsreihen bestätigen neuerdings die von mir aufgefundene Thatsache, dass der Kalk für gewisse Algen unnöthig ist, ebenso wie für die von mir daraufhin seinerzeit untersuchten Pilze.
